

Розглядається питання щодо порядку визначення дійсного обсягу спожитої активної електроенергії, у разі порушення розрахункового обліку на основі триелементних лічильників в високовольтних мережах. Пропонуються корегуючі коефіцієнти при різному характері порушення.

УДК 628.93.001

В.В.Момот,
ВАТ “Полтаваобленерго”
В.Ф.Рой, докт.фіз.-мат.наук
Харківська національна академія міського господарства

ВИЗНАЧЕННЯ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ СПОЖИТОЇ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РАЗІ ПОРУШЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ПОНАД 1000 В

Згідно [1] електроустановки споживачів мають бути забезпечені необхідними розрахунковими засобами обліку електричної енергії для розрахунків за спожиту електричну енергію. Обсяги електричної енергії, які підлягають оплаті, мають визначатися відповідно до даних розрахункового обліку електроенергії про її фактичне споживання. Однак в процесі експлуатації розрахункових засобів обліку електроенергії, зокрема в мережах напругою понад 1000 В, іноді виникає ситуація, коли розрахунковий облік тимчасово порушується внаслідок виходу із ладу лічильників, трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН), кіл обліку, які використовуються для визначення обсягу електричної енергії та величини споживання електричної потужності. Враховуючи, що порушення розрахункового обліку призводить до комерційних втрат електроенергії для енергокомпаній (особливо в високовольтних мережах, де проходять великі об'єми електроенергії), виникає питання щодо визначення дійсного значення спожитої електроенергії за період порушення в електроустановках напругою понад 1000 В.

Відповідно до [1] у разі тимчасового порушення розрахункового обліку не з вини споживача обсяг електричної енергії, за згодою сторін, може бути розрахований по-стачальником електричної енергії за середньодобовим обсягом споживання. Слід зазначити, що даний порядок вирішення спірної ситуації є справедливим не у всіх випадках, а тоді, коли порушення розрахункового обліку відбулося по усім трьом фазам одночасно. В [2] наведені теоретичні результати розрахунків корегуючого коефіцієнту до спожитого обсягу електроенергії під час обліку електроенергії двоелементними індукційними лічильниками у разі неправильної схеми включення або пошкодження схеми обліку. На даний час в трифазних трипровідних високовольтних мережах широко застосовуються, окрім двоелементних індукційних лічильників, ще й багатофункціональні електронні лічильники електроенергії, які програмується і мають гнучку вимірювальну систему, налаштовуються для роботи в три або чотирипровідній мережах високої чи низької напруги, про що зазначалося в роботі [3]. Відповідно, додатково виникає питання, чи можна застосовувати розраховані в роботі [2] для двоелементних індукційних лічильників корегуючі коефіцієнти у випадку використання в схемі обліку багатофункціональних електронних триелементних лічильників?

Оскільки в трифазній трипровідній мережі напругою понад 1000 В для обліку електроенергії поряд з двоелементними лічильниками використовуються триелементні, струмові кола яких, в основному, підключені за схемою «неповна зірка», то виникає необхідність як теоретичного, так і практичного дослідження обліку активної електроенергії вказаними лічильниками. При цьому дослідження треба провести при різних варіантах порушення схеми розрахункового обліку (по-фазний вихід з ладу засобів об-

ліку) з метою оцінки дійсного значення спожитої активної електроенергії для вирішення спірного питання між електропередавальною організацією та споживачем щодо визначення обсягу недоврахованої електроенергії.

Зазвичай облік електроенергії в трифазних трипровідних мережах напругою понад 1000 В організовується на основі двох ТС, кола яких з'єднані в «неповну зірку». Відповідно до [4] включення триелементних лічильників в таку схему обліку проводиться шляхом підключення струмового кола середнього елемента лічильника на суму струмів фаз «А» та «С» зі зворотною полярністю. Згідно [2] лічильником обліковується потужність трифазної зрівноваженої системи:

$$P = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos \alpha + U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos \beta = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_a + U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_b + U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_c, \quad (1)$$

де U_{AB} , U_{CB} – лінійні напруги між відповідними фазами; U_A , U_B , U_C – фазні напруги відповідних фаз; I_A , I_B , I_C – струми відповідних фаз; α , β – кут між лінійною напругою та струмом відповідних фаз; φ_a , φ_b , φ_c – кут між фазною напругою та струмом відповідних фаз.

Звідки, знаючи величину потужності трифазної трипровідної зрівноваженої системи до пошкодження схеми обліку та після виявлення факту по-фазного пошкодження засобів обліку, можна визначити корегуючий коефіцієнт щодо фактично спожитого обсягу електроенергії, який був зафіксований засобом обліку за період порушення:

$$K_{\text{кор}} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\delta}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi_{\text{л}}}{U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A + U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C}, \quad (2)$$

де P_{Σ} – розрахункова потужність трифазної зрівноваженої системи; P_{δ} – значення потужності у разі пошкодження схеми розрахункового обліку; $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$, $\varphi_{\text{л}}$ – лінійні значення струму, напруги та кута між ними для трифазної трипровідної зрівноваженої системи.

На рис.1 зображена векторна діаграма, яка відповідає пошкодженню схеми обліку у разі виходу з ладу ТС окремо по фазі «А» (рис.1,а) та по фазі «С» (рис.1,б).

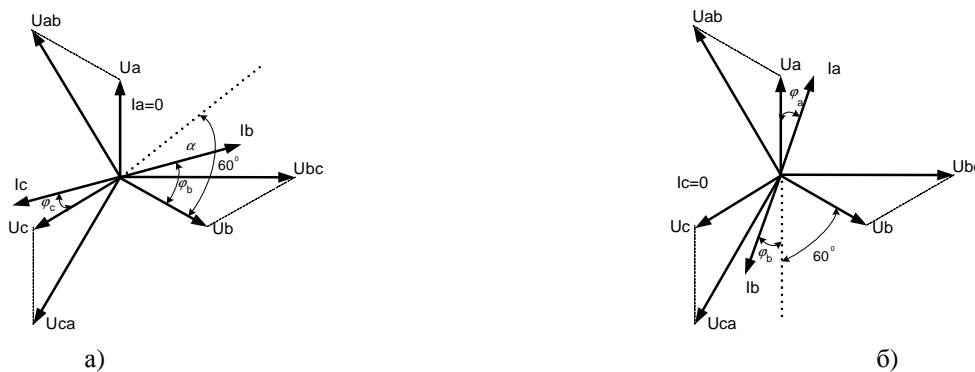


Рис.1 Експериментально знята векторна діаграма для триелементного лічильника типу NP-03 у разі пошкодження схеми обліку по фазі «А» (а) та по фазі «С» (б)

Значення корегуючого коефіцієнту при пошкодженні ф.«А» буде становити:

$$K_{\text{кор.А}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi_{\text{л}}}{0 + U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C} = \frac{3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi_{\phi}}{U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot (\cos(60^{\circ} - \varphi_B) + \cos \varphi_C)} =$$

$$= \frac{3 \cdot \cos \varphi_{\phi}}{\left(\frac{1}{2} \cdot \cos \varphi_B + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \varphi_B\right) + \cos \varphi_C} = \frac{2 \cdot \cos \varphi_{\phi}}{\cos \varphi_{\phi} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \varphi_{\phi}} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg} \varphi_{\phi}''}, \quad (3)$$

де φ_{ϕ}'' – кут між струмом та напругою, значення якого приймається у відповідності з фактичним коефіцієнтом потужності споживача в середньому за розрахунковий період.

У разі пошкодження ф.«С» корегуючий коефіцієнт становить:

$$\begin{aligned} K_{\text{кор.С}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi_{\text{л}}}{U_{\text{А}} \cdot I_{\text{А}} \cdot \cos \varphi_{\text{А}} + U_{\text{В}} \cdot I_{\text{В}} \cdot \cos \varphi_{\text{В}} + 0} = \frac{3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi_{\phi}}{U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot (\cos \varphi_{\text{А}} + \cos(60^{\circ} + \varphi_{\text{В}}))} = \\ &= \frac{3 \cdot \cos \varphi_{\phi}}{\cos \varphi_{\text{А}} + \left(\frac{1}{2} \cdot \cos \varphi_{\text{В}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \varphi_{\text{В}}\right)} = \frac{2 \cdot \cos \varphi_{\phi}}{\cos \varphi_{\phi} - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \varphi_{\phi}} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg} \varphi_{\phi}''}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для перевірки теоретичних розрахунків була використана модель схеми обліку, що складалася з двоелементного лічильника типу ЕТ 3А5Е7ULRT та триелементного лічильника типу NP-03 ADD-ED0.3-U (клас точності яких становить 0.5s), струмові кола яких були включені за схемою «неповна зірка». На дослідному стенді штучно вносились зміни в схему обліку для створення найбільш типової ситуації, що імітувала б різний характер порушення розрахункової схеми обліку. Для визначення відносної похибки обліку активної електроенергії використовувався переносний робочий еталон ZERA MT 310 (клас точності 0.2). Вимірювання спожитої електроенергії проводилися при декількох значеннях коефіцієнту потужності навантаження та при різному струмі навантаження. Результати теоретичних розрахунків корегуючого коефіцієнту та проведених вимірювань наведені в табл.1.

Як бачимо, отримані величини похибок при різному значенні струму навантаження майже не відрізняються одна від одної у випадку конкретного характеру порушення. При цьому чітко проявляється залежність значень похибок від коефіцієнту потужності. Отримані за допомогою теоретичних розрахунків значення корегуючого коефіцієнту для дво- та триелементних лічильників співпадають одне з одним та з величинами отриманих похибок. Слід зазначити, що у випадку відсутності напруги по одній з фаз (за винятком пошкодження по фазі «В») значення похибок та корегуючих коефіцієнтів для двоелементних лічильників відрізняються від аналогічних значень для триелементних лічильників (зокрема, для лічильників типу NP-03 та ZMD похибка складає близько 50%, відповідно $K_{\text{кор}}=2$).

Аналізуючи теоретичні розрахунки та практичні результати дослідження обліку активної електроенергії триелементними лічильниками у разі пошкодження схеми обліку в трифазних трипровідних мережах напругою понад 1000 В можна зробити висновки:

- теоретичні розрахунки обсягу недоврахованої електроенергії у разі пошкодження схеми обліку підтверджуються практичними результатами як для двоелементних, так і для триелементних лічильників;
- для визначення дійсного значення спожитої активної електроенергії у разі пошкодження розрахункового обліку можна використовувати корегуючий коефіцієнт;
- значення корегуючого коефіцієнту для триелементних лічильників, у разі пошкодження кіл напруги (окрім напруги середньої фази «В»), відрізняється від аналогіч-

ного значення зазначеного коефіцієнту для двоелементних лічильників і залежить від типу триелементного електронного лічильника;

Таблиця 1.

Результати обліку активної електроенергії у разі порушення схеми обліку

№	Виконання схеми	Похибка двоелементного лічильника δ_2 , %		Похибка триелементного лічильника δ_3 , %		$K_{\text{кор}}$ двоелементного лічильника	$K_{\text{кор}}$ триелементного лічильника
		$\cos\varphi=0,94$	$\cos\varphi=0,7$	$\cos\varphi=0,94$	$\cos\varphi=0,7$		
1	Вірно виконана схема	$\frac{0,67}{0,79}$	$\frac{0,73}{0,89}$	$\frac{0,06}{0,11}$	$\frac{0,14}{0,13}$	1	1
2	Обрив кола струму ф. «А»	$\frac{-36,47}{-35,15}$	$\frac{-17,90}{-17,00}$	$\frac{-37,45}{-36,60}$	$\frac{-17,95}{-16,01}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + tg\varphi}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + tg\varphi}$
3	Обрив кола струму ф. «В»	-	-	$\frac{-32,66}{-32,29}$	$\frac{-32,60}{-32,75}$	-	1,5
4	Обрив кола струму ф. «С»	$\frac{-62,71}{-62,29}$	$\frac{-83,05}{-81,75}$	$\frac{-62,85}{-64,35}$	$\frac{-81,54}{-80,44}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - tg\varphi}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - tg\varphi}$
5	Відсутня напруга ф. «А»	$\frac{-36,03}{-35,66}$	$\frac{-18,72}{-18,85}$	$\frac{-49,46}{-47,14}$	$\frac{-49,87}{-45,66}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + tg\varphi}$	2*
6	Відсутня напруга ф. «В»	$\frac{-47,94}{-48,28}$	$\frac{-47,74}{-48,66}$	$\frac{-49,00}{-48,38}$	$\frac{-49,28}{-50,86}$	2	2*
7	Відсутня напруга ф. «С»	$\frac{-63,97}{-64,58}$	$\frac{-84,05}{-84,26}$	$\frac{-51,85}{-52,39}$	$\frac{-51,49}{-51,75}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - tg\varphi}$	2*

Примітка: через дріб наведені значення похибок при струмі 14% та 7% від $I_{\text{ном}}$;

* - корегуючий коефіцієнт залежить від типу електронного лічильника.

- оскільки для триелементних лічильників значення корегуючого коефіцієнта у випадку по-фазного порушення кіл струму аналогічне як і для двоелементних, то вид виконання схеми струмових кіл обліку не впливає на значення обсягу недоврахованої електроенергії в трифазних трипровідних мережах високої напруги;

- отримані результати досліджень можуть бути використані з метою оцінки дійсного значення спожитої активної електроенергії для вирішення спірного питання між електропередавальною організацією та споживачем щодо визначення обсягу недоврахованої електроенергії;

- обґрунтований алгоритм визначення дійсного обсягу спожитої активної електроенергії, у разі порушення розрахункового обліку на основі триелементних лічильників в високовольтних мережах, можна використати для впровадження методичних матеріалів, наприклад, розробки «Методики визначення обсягу та вартості електричної енергії, не облікованої внаслідок порушення розрахункового обліку не з вини споживача».

Література

- Правила користування електричною енергією. Постанова НКРЕ №28 від 31.07.96р (у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005р. №910).
- Г.П. Минин. Измерение электроэнергии. – М.: Энергия, 1974.-103 с.
- В.В. Момот, В.Ф. Рой. Особливості обліку електроенергії, спожитої на власні потреби підстанцій// Міжнародний науково-технічний журнал «Світлотехніка та електроенергетика». – 2008. - №1. – С.17-23.
- Рощин В.А. Схемы включения счетчиков электрической энергии. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002, 62 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЕННОЙ
АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ НАРУШЕНИИ СИСТЕМЫ УЧЕТА
В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЫШЕ 1000 В

В.В.Момот, В.Ф.Рой

Рассматривается вопрос относительно порядка определения действительного объема потребленной активной электроэнергии при нарушении расчетного учета на основе трехэлементных счетчиков в высоковольтных сетях. Предлагаются поправочные коэффициенты при различном характере нарушения.

DETERMINATION OF ACTUAL VALUE OF CONSUMED ACTIVE ELECTRIC
POWER AT VIOLATION OF CONSIDERATION IN
NETWORKS BY TENSION OVER 1000 V

V.V.Momot, V.F.Roy

A question in relation to the order of determination of actual volume of consumed active electric power at violation of computation consideration on the basis of three element based meters in high-voltage networks is examined. A correction coefficient at a different character of violation is offered.